心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 3, 411–422
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.00411

·研究前沿(Regular Articles)·

认知控制在发散性思维中的作用*

滕 静[1] 沈汪兵[2] 郝 宁[1]

([1]华东师范大学心理与认知科学学院, 上海 200062)
([2]河海大学公共管理学院暨应用心理研究所, 南京 210098)

摘 要 探讨认知控制在发散性思维中的作用是当前创造力研究领域的热点问题。目前一致认为认知控制包括工作记忆、抑制控制和认知灵活性三个核心成分。工作记忆对个体在发散性思维中维持任务目标、提取和操作信息发挥重要作用; 抑制控制, 包括优势反应抑制、分心干扰抑制和对潜在相关信息的低抑制, 分别压制对常规观点的提取、确保对内在注意状态的维持和提供更多观念的组合, 进而促进个体的发散性思维表现。此外, 流体智力作为一种高级认知控制能力, 可通过增强策略使用的灵活性从而利于发散性思维。近来神经科学研究表明, 发散性思维不同阶段需要执行控制网络和默认网络的动态协同加工。未来研究应澄清认知控制各子成分间的关系, 探讨认知控制影响发散性思维是否受到其他因素(如动机和情绪)的调节, 以及探索执行控制网络和默认网络的动态协作是否受到任务要求和个体差异(如人格和智力)的影响。

关键词 发散性思维; 认知控制; 抑制; 工作记忆; 流体智力
分类号 B842

1 引言

创造力, 作为反映人类智慧的高级认知能力之一, 体现在艺术创作、技术革新及科学发明等众多领域(Radel, Davranche, Fournier, & Dietrich, 2015)。它通常被定义为在特定环境下个体产生新颖的(独创的、预想不到的)和适宜的(不超出条件的限制且有用的)思想及产品的能力(Runco & Jaeger, 2012)。创造性思维是创造力的认知层面, 代表创造性过程的认知元素、思维过程、思维风格等(Sternberg & Lubart, 1999)。发散性思维是创造性思维的主要组成部分, 它是一种不依常规、寻求变异, 从多方面探求答案的思维形式(Sternberg & Lubart, 1999), 是沿着各种不同的方向去思考, 重新组合当前的信息和记忆系统中的信息, 进而产生大量独特新思想的认知过程(沈汪兵, 刘昌, 施春华, 袁媛, 2015)。发散性思维表现是个体创造潜能的重要预测变量(Runco & Acar, 2012)。

早期的“联系性加工理论” (the associative theory)认为, 发散性思维是无意识的、自发的、联系性的加工过程(Mednick, 1962), 注意去焦状态及较低水平的认知控制有利于创造性观念的生成(Baird et al., 2012; Dijksterhuis & Meurs, 2006; Zhong, Dijksterhuis, & Galinsky, 2008)。但新近的“控制注意理论” (the controlled attention theory)认为, 发散性思维是有意识的、自上而下的、目标定向的过程, 需要那些参与控制注意和认知的能力的参与(Gilhooly, Fioratou, Anthony, & Wynn, 2007; Beaty, Silvia, Nusbaum, Jauk, & Benedek, 2014)。认知控制(cognitive control), 指当自动的或有赖直觉的加工无法满足任务要求时, 需集中并维持注意而进行的一系列自上而下的心理加工过程(Diamond, 2013), 亦是进行多种认知操作不可或缺的有意识的认知资源(Vandervert, Schimpf, & Liu, 2007)。与之涵义相近的一组概念为执行功能(executive functions)或执行控制(executive control), 指个体在实现特定目标或者完成复杂任务时, 以

收稿日期: 2017-3-22
* 教育部人文社会科学研究规划基金项目(17YJA190007), 上海市哲学社会科学规划一般项目(2017BSH008), 上海市曙光计划项目(16SG25)资助。
通信作者: 郝宁, E-mail: nhao@psy.ecnu.edu.cn

灵活、优化的方式控制多种认知过程协同操作的认知机制(Miller & Cohen, 2001)。自下而上的认知控制更侧重与自下而上自动化加工相对应，执行功能更强调目标导向性行为，但两者本质均是涉及大脑额顶控制网络的功能。所以本文将借鉴Diamond (2013)的观点，在后续讨论中不对二者做特别区分。

虽然关于认知控制的可分离性及分类标准尚存在争议，但研究者们较为一致的观点认为认知控制有三个核心成分：工作记忆(working memory, WM)、抑制控制(inhibition control)、认知灵活性(cognitive flexibility) (Davidson, Amso, Anderson, & Diamond, 2006; Lehto, Juujärvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003; Miyake et al., 2000)。另有研究者主张，流体智力(fluid intelligence)作为一系列推理、问题解决、发现概念间内在联系的能力总和，是一种高级认知控制能力(Diamond, 2013)。近十几年，研究者从不同角度对认知控制与发散性思维的关系进行了探讨，取得了丰硕的研究成果。需指出，以往研究对认知灵活性在发散性思维中作用的分析多停留在理论层面，少有实证证据(Chen et al., 2014)。因此，本文聚焦于评述工作记忆、抑制控制及流体智力在发散性思维中作用的相关研究，在此基础上讨论认知控制和自发性认知在发散性思维中的动态协同作用，进而总结该主题研究当前的局限并提出未来研究展望。

2 工作记忆与发散性思维

工作记忆(working memory, WM)指个体在执行认知任务过程中，暂时储存与加工信息的能量有限的系统；它被认为是人类认知活动的核心，是学习、推理、问题解决和智力活动的重要成分(Baddeley, 1992)。工作记忆有两个基本功能：使新异信息处于高度活跃的状态，以及区分与任务有关或无关的信息(Nijstad & Stroebe, 2006)。工作记忆容量(working memory capacity, WMC)是衡量工作记忆存储系统资源容量的操作性指标。

研究表明高工作记忆容量者发散思维表现更优。例如，Rosen 和 Engle (1997)以操作广度(operation-span, Ospan)任务测量个体的工作记忆容量，以类别流畅性任务考察个体的思维流畅性。结果发现，高工作记忆容量被试回忆出更多的动物样例，而增加注意负荷导致高容量被试回忆数量的下降。Hao, Yuan, Cheng, Wang 和 Runco (2015)探讨了工作记忆容量和反应方式(将生成的观点口头报告或纸笔书写)对发散性思维的作用。结果发现，高工作记忆容量组较之低工作记忆容量组在纸笔书写方式(低认知负荷)下的发散性思维流畅性更优，而在口头报告方式(高认知负荷)下的表现无差异；认知负荷在反应方式对发散性思维流畅性的作用中发挥完全中介作用。上述研究表明工作记忆可能影响发散性思维的流畅性。de Dreu, Nijstad, Baas, Wolsink 和 Roskes (2012)发现，工作记忆容量与发散性思维的新颖性亦存在显著正相关，思维的坚持性在其中发挥部分中介作用。根据创造力的双通道模型(dual pathway to creativity model, DPCM)，个体可通过两个通道完成创造性任务，即灵活性(flexibility)通道(采用灵活发散的思维方式)和坚持性(persistance)通道(采用保守坚持的思维方式)。前者利于个体生成丰富多样的观念，后者利于个体在某一范畴内挖掘深邃且新颖的观念，这两种通道均可促进创造性观念的生成。坚持性通道需持续性聚焦注意以维持观念生成的路径，比之灵活性通道会消耗更多认知资源(de Dreu, Baas, & Nijstad, 2008)。因此，当发散性思维从坚持性通道进行时，需依赖于工作记忆的参与，表现为发散性思维的新颖性和工作记忆容量呈正相关。

来自干预研究的证据也支持了工作记忆对发散性思维的重要作用。Vartanian 等人(2013)通过n-back 任务训练个体的工作记忆，提升其工作记忆容量，进而探索工作记忆训练对个体完成发散性思维任务的影响。fMRI 结果显示，相较于对照组，训练组在完成非常规用途任务(alternative uses task, AUT)时其腹外侧前额叶皮层(ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC)与背外侧前额叶皮层(dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC)激活显著减少。以往研究表明 VLPFC 与打破心理定势有关，DLPFC 与观念生成的流畅性有关(Goel & Vartanian, 2005)，该研究暗示工作记忆训练可能提高了发散性思维相关脑区的神经效率(neural efficiency)。

但也有研究表明发散性思维不依赖于工作记忆。例如，Smeekens 和 Kane (2016)使用复杂广度任务(complex span task)测量工作记忆容量，使用AUT 任务测量发散性思维，结果并未发现二者间的显著相关关系。Lin 和 Lien (2013)采用双任务范

式研究工作记忆对发散性思维和顿悟的影响，发现当增加工作记忆负荷时，个体的发散性思维表现更好而顿悟表现更差。Lin 和 Lien 基于双加工理论(Evans, 2003)对此进行解释，认为发散性思维主要依赖认知加工系统 1(联想的、无需认知努力的启发式系统)，不需要工作记忆参与；而顿悟问题解决不仅依赖于系统 1，还有赖于系统 2(逻辑的、需要认知努力的分析性系统)，需要工作记忆的参与。

综上，工作记忆在发散思维中的作用非常复杂，并非所有研究都检测到工作记忆的显著影响。这种结果的分野可能由以下三方面原因导致。第一，工作记忆可分为空间工作记忆和言语工作记忆，各有相应的测量任务。例如，操作广度任务或阅读广度任务测量言语工作记忆广度，对称广度任务和色环任务测量空间工作记忆容量。此外，发散性思维分为言语发散思维与空间发散思维两类。特定内容的工作记忆(material-specific WM)为特定领域(domain-specific)的问题解决提供一个基本平台(Chein & Weisberg, 2014)，故不同类型的发散思维可能依赖于不同的工作记忆。早先研究发现的不一致，可能反映了不同类型的工作记忆和不同类型发散思维间的不同关系。第二，已有研究中给予被试完成发散性思维任务的时间不同。例如, Smeekens 和 Kane (2016)的三个子研究，被试完成发散性思维任务的时间分别为 5 分钟、5 分钟和 2 分钟，而在 de Dreu 等人(2012)的实验中任务时间为 16 分钟。发散性思维的序列位置效应(serial order effect)表明，观念生成的新颖性会随着时间推移而提高(Beaty & Silvia, 2012)，而低认知控制者将注意长时集中于当前任务上的能力较低(McVay & Kane, 2009, 2010)。因此，任务时间可能是影响工作记忆容量与发散性思维关系的重要变量，即：更长任务时间条件下，可能更利于凸显工作记忆对发散性思维的重要作用。第三，创造力的双过程模型(the twofold model or dual process model) (Finke, Ward, & Smith, 1992)认为，创造性思维的产生包括观念生成和观念评价两个过程。观念评价过程更多依赖于自上而下的控制(top-down control)加工，观念生成过程则以自下而上的数据驱动加工(bottom-up data-driven thought)为主(Chrysikou, Weber, & Thompson-Schill, 2014; Hao et al., 2016)。工作记忆在发散性思维的不同阶段或许发挥不同作用。

3　抑制控制与发散性思维

抑制控制(inhibition control)指减少或制止神经、心理或行为活动的认知加工活动，它是认知控制的核心成分(Diamond, 2013)。抑制主要分为三类：(1)分心干扰抑制，指抵制与当前任务无关的外界信息的干扰；(2)前摄抑制，指提取信息时阻滞先前与任务相关但现在与之无关的信息进入工作记忆；(3)优势反应抑制，指刻意压制占优势地位的、自动化的反应(Nigg, 2000)。

早在 1975 年研究已揭示个体在色词 Stroop 任务(一种典型的优势反应抑制任务)上的表现与其发散性思维表现及教师评定的创造力水平呈正相关(Golden, 1975)。后有研究发现以发散性图形生成任务测得的创造力与 Stroop 和 Navon 任务所测的抑制控制能力间存在显著正相关(Groborz & Necka, 2003)。近来，Benedek, Franz, Heene 和 Neubauer (2012)使用随机运动生成任务(random motor generation task)测认知抑制能力，用 5 个发散性思维任务及多个创造力自陈量表测创造力，以简化版柏林智力结构测验(Berlin-Intelligence Structure Test)测量流体智力水平。结果表明，抑制水平与发散性思维表现间存在显著正相关；抑制能力促进了观点生成的流畅性，而流体智力特定地促进观点生成的原创性。Benedek, Jauk, Sommer, Arendasy 和 Neubauer (2014)进一步探索了执行功能三成分对流体智力和发散性思维的作用，发现刷新功能对流体智力，抑制和刷新功能对发散性思维有正向预测作用。

近期有研究比较了不同创造力水平者的抑制能力差异(Edl, Benedek, Papousek, Weiss, & Fink, 2014)。该研究选择设计专业的学生为高创造力组被试，普通专业学生为对照组被试，使用 Stroop 色词任务测量抑制能力，以托伦斯创造力测验(Torrance tests of Creative Thinking, TTCT)测量发散性思维表现。结果发现，高创造力组被试表现出更强的抑制控制能力；抑制控制能力与发散性思维的流畅性和新颖性均有显著正相关。另有研究揭示，低心智游移者生成观念的创新性随时间变化保持在稳定的高水平，而高心智游移者生成

观念的创新性随时间变化不断降低。鉴于较高的心智游移频率代表着对当前任务较低的抑制控制水平，该研究发现支持了抑制功能在发散性思维中的重要作用(Hao, Wu, Runco, & Pina, 2015)。

脑电研究发现，完成发散性思维任务较之推理、计算或记忆提取等任务，伴有更强的额顶叶脑电 alpha 波的事件相关同步化(event-related synchronization, ERS) (Fink & Benedek, 2014)。研究揭示，alpha 波 ERS 与完成同一个任务的发散性思维过程有关，而与聚合性思维过程无关(Jauk, Benedek, & Neubauer; 2012)；发散性思维中产生新颖观点时伴随额顶叶更强的 alpha 波 ERS (Fink & Neubauer, 2006; Grabner, Fink, & Neubauer, 2007)；高创造力的个体比之低创造力的个体，完成发散性任务时表现出更强的 alpha 波 ERS (Fink, Graif, & Neubauer, 2009)；以 10 Hz 的经颅交流电刺激(tACS)作用于额叶使 alpha 波活动增强，会提升发散性思维的表现(Lustenberger, Boyle, Foulser, Mellin, & Fröhlich, 2015)；在发散性思维过程中反思已生成的观念会诱发额叶更强的 alpha 波 ERS，提升后续观念生成的创新水平(Hao et al., 2016)。额顶叶 alpha 波 ERS 被认为反应了大脑对外部刺激和自下而上加工的抑制，即大脑处于一种自上而下的控制状态(Fink & Benedek, 2014)。抑制控制可排除无关动作、心理活动等对当前任务的干扰；可对分心刺激进行抑制，使注意聚焦于当前的任务；可抑制占优势地位的“常见”语义概念或观点的产生，从而利于发散性思维(Benedek & Neubauer, 2013)。

然而，另一些研究发现抑制能力与发散性思维表现无相关，甚至是较低的抑制控制能力有益于创造性观点的生成。例如，研究者使用负启动任务(negative priming task)测量个体的抑制能力，使用 Wallach-Kogan 创造力测验(Wallach-Kogan Creativity Test, WKCT)测量发散性思维，发现抑制能力与观念生成的新颖性、流畅性没有显著相关(Stavridou & Furnham, 1996; Green & Williams, 1999)。张丽华、胡领红和白学军(2008)比较了高低创造力大学生汉字负启动效应的差异，发现高创造力组被试的抑制能力显著低于低创造力组。负启动是指对先前被忽视的项目进行反应时，准确率下降且反应时延长的一种现象，它反映了注意的抑制机制，与选择性注意有关(Neill, 1977)。研究者也关注了另一种抑制能力，即潜在抑制能力(latent inhibition, LI)在发散性思维中的作用。LI 是指一种忽略先前经历过的与当前任务需求无关刺激的潜意识能力(Lubow & Gewirtz, 1995)。需指出，潜在抑制是临床精神病领域提及较多的术语，而前摄抑制能力更多在记忆领域使用。事实上，两者无论从定义还是研究范式上来看都颇为相似。Carson, Peterson 和 Higgins (2003)使用创造力成就问卷(Creative Achievement Questionnaire, CAQ)测个体的创造成就，用 TTCT 测发散性思维，并测查个体潜在抑制能力。结果发现，无论是高创造成就者较之低成就者，还是发散性思维高新颖组较之低新颖组，均表现出更低的潜在抑制水平。

Chrysikou 等人(2013)在被试完成非常规用途任务或常规用途任务前，使用经颅直流电刺激(tDCS) (1.5 mA)分别抑制左侧前额皮层和右侧前额皮层的兴奋性。他们发现，左侧前额皮层活动的减弱可提升个体在非常规用途任务中的表现，这表明认知去抑制可能易化了发散性思维。Radel 等人(2015)要求被试持续做 40 分钟的抑制任务以消耗其抑制功能资源，而后要求被试完成发散性思维和聚合性思维任务。结果发现，抑制功能资源耗损促进了个体发散性思维的流畅性。上述发现支持了“认知抑制及行为抑制能力的缺乏是高创造力个体所具备的典型特征”这一观点(Eysenck, 1995)。这可能是因为，个体在低抑制状态下可同时获得、加工大量的潜在有用信息(Carson et al., 2003)，也可能促进了语义网络激活扩散的速度或距离，进而促进更多原创性想法的生成(Radel et al., 2015)。

关于抑制还是去抑制更有利于发散性思维目前仍有争议。一个值得关注的视角是，发散性思维或许并不简单依赖于抑制控制本身，可能抑制控制的灵活运用对发散性思维过程更为重要。这种假设已有相关研究支持。Zabelina 和 Robinson (2010)发现，发散性思维并不笼统地与基于 Stroop 效应所测的抑制能力存在相关，而是与试次到试次间抑制控制的灵活调整有关。即，是抑制控制的灵活性而非抑制控制能力的高低导致了个体创造表现的差异。沿着这一思路，该团队探讨了注意的灵活转换能力对发散性思维和现实情境创造成就的预测作用。结果表明，以 TTCT 测得的发散性思维表现与注意的灵活转换能力正相关，而

以创造力成就问卷测量的现实情境创造成就则与更弥散的注意状态有关(Zabelina, Saporta, & Beeman, 2016; Zabelina, O'Leary, Pornpattananangkul, Nusslock, & Beeman, 2015)。姚海娟(2014)的研究也表明，相比低发散性思维水平者，高发散性思维水平者的认知抑制能力更灵活；创造性思维与认知抑制的关系受到情绪状态、时间压力和语境的调节作用。抑制控制一方面可以通过维持目标定向行为来促进发散性思维的进行，另一方面则会阻碍远距离想法的获得从而抑制发散性思维；高创造力的人则可以根据当前情境需要迅速在高低抑制控制间转换(Edl et al., 2014)。另一个值得关注的问题是，尽管近来有研究者提出无论对儿童、青少年还是成人而言，抑制功能均是发散性思维中的一项核心能力(Cassotti, Agogué, Camarda, Houdé, & Borst, 2016)，但以往针对儿童和青少年的实证研究相对缺乏。探讨抑制功能在儿童和青少年发散性思维中的作用，探索其发挥作用随年龄增长的变化趋势，是一个有趣的研究话题。

4　流体智力与发散性思维

流体智力是一种高级认知控制能力(Diamond, 2013)，它对解决新异问题起到关键作用(Burgess, Gray, Conway, & Braver, 2011)。研究者采用潜变量分析方法，探索了流体智力、执行功能对于发散性思维的预测作用，发现流体智力对发散性思维的影响受到执行功能中转换能力的调节(Nusbaum & Silvia, 2011)。另有研究分析了流体智力和工作记忆对三类创造性思维(联想流畅性、发散思维、聚合思维)所起的作用，发现工作记忆通过流体智力间接预测了三类创造性思维的成绩(Lee & Therriault, 2013)。近来研究表明，个体创造成就的高低受其流体智力和语义结构的共同影响(Kenett, Beaty, Silvia, Anak, & Faust, 2016)。Nusbaum 和 Silvia (2011)提出，流体智力通常与使用新颖性定义的创造力有关，而在仅用流畅性定义的创造力中不存在这种相关关系。该主张在一项测量学研究中得到证实，其发现流体智力与发散性思维的新颖性得分有显著正相关，而与发散性思维的流畅性得分无关(Benedek, et al., 2012)。

上述研究表明流体智力促进发散性思维的新颖性，但此作用的内在机制依然不清楚。有研究者基于认知过程观的视角，从不同角度(包括序列位置效应，指导语效应，策略习得等)探讨流体智力怎样对发散性思维过程产生影响。Beaty 和 Silvia (2012)从认知控制的角度重新审视了发散性思维中的序列位置效应。他们发现，高流体智力被试一开始就能产生新颖的观点；而低流体智力被试起初会产生最普通、最不新颖的观点，而后逐渐产生愈加新颖的观点。他们认为，高流体智力个体具有强的执行功能，可有效地抑制了那些占优势的普通观点的干扰，从而能够持续生成高新颖性的观念。Nusbaum, Silvia 和 Beaty (2014)发现，当被明确要求被试产生创造性观念时，高流体智力者比低流体智力者更能从这种外显的指导语中获益，产生更为新颖的观点。Nusbaum 和 Silvia (2011)给予被试发散性思维训练，将被试分为策略训练组和无策略控制组。结果发现，策略使用情况与流体智力间存在交互作用，当给予策略训练时，高流体智力者发散性思维表现更好。该研究表明，高流体智力者在进行创造性问题解决过程中，更易于使用抽象的策略来提高其观点生成的新颖性。

近来有研究探索了流体智力在发散性思维中作用的神经机制。Jaarsveld 等人(2015)使用 EEG 技术记录被试完成创造性推理任务(要求被试编制一个 3 × 3 几何矩阵推理任务)的脑电活动。他们发现，在问题解决的思维发散阶段和思维汇聚阶段均出现了前额叶和顶叶 alpha 波 ERS 的增强，该结果表明在解决结构不良(ill-structured)的创造性问题过程中需要智力的参与。

5　认知控制–自发性认知对发散性思维的交互影响

近年来，神经科学研究技术被广泛应用于创造力研究领域，为揭示发散性思维的内在机制提供了诸多新证据，这些证据勾勒出一种认知控制与自发性认知在发散性思维过程中动态协作的新取向。自发性认知(spontaneous cognition)指独立于外部刺激输入，源自于对内部心理活动的内在关注的一种认知过程(Smallwood, 2013)，包括心智游移(mind wandering)、心理模拟(mental simulation)、自传体式提取(autobiographical retrieval)、未来情境思维(episodic future thinking)等等(Andrews-Hanna, 2012)。大脑的默认网络(default mode network, DMN)在自发性认知中起

到主要作用(Andrews-Hanna, Smallwood, & Spreng, 2014)。默认网络主要涉及的脑区有后扣带回(posterior cingulate cortex)、楔前叶(precuneus)、内侧前额叶(medial prefrontal cortex)、外侧顶叶(lateral parietal cortex)和内侧颞叶(medial temporal cortex), 等等(Greicius, Krasnow, Reiss, & Menon, 2003)。

尽管默认网络和执行控制网络(executive control network, ECN)在功能上是相互拮抗的关系, 但在创造性认知中发挥相互协作的作用。Beaty 等人(2014)对比了高低创造力个体在静息态下脑网络的功能连接强度, 发现高创造力者的额下回(inferior frontal gyrus, IFG)与默认网络间有更强的功能连接。Mayseless, Eran 和 Shamay-Tsoory (2015)的研究要求被试在 fMRI 中完成非常规用途任务和典型用途任务, 分析新颖性想法产生的特定脑区, 并进行功能连接分析。结果表明, 新颖性想法的产生(相较于常规想法)伴随默认网络的内侧前额叶皮层和后扣带回更强的激活; 观点的新颖性程度与腹侧前扣带回(ventral anterior cingulate cortex, vACC)的激活水平呈显著正相关, 且伴随腹侧前扣带回与左侧颞顶区更强的功能连接。上述结果表明, 新颖想法的产生涉及新联结的建立(自发性认知)及对普通观点的抑制(认知控制)。

Green, Cohen, Raab, Yedibalian 和 Gray (2015)关注了状态性创造力提升(通过指导语增强创造性)背后的神经基础。该研究所用的任务为“动词生成任务” (verb generation task), 即给被试呈现一个名词, 要求被试说出与这个名词相关的动词, 而后使用潜在语义分析方法(latent semantic analysis, LSA)测查该动词与名词的语义距离, 语义距离越远代表创造性越高。结果发现, 被试反应的语义距离与默认网络内侧前额叶皮层的激活呈显著正相关; 随着名词和动词之间语义距离的增加, 内侧前额叶与腹侧前扣带回的耦合也增强, 这种耦合的增强可能表示新异联结的建立。Sun 等人(2016)对被试进行为期一个月的认知刺激训练(cognitive stimulation training)以提升发散性思维能力, 并测查训练所引起的大脑结构和功能的改变。结果发现, 训练后功能发生改变的脑区主要涉及背侧前扣带回、背外侧前额叶和顶下小叶(inferior parietal lobule, IPL), 结构发生改变的脑区主要为背侧前扣带回。背侧前扣带回和背外侧前额叶参与认知控制任务中, 顶下小叶与语义加工有关, 上述结果说明自上而下控制加工与自下而上联系性加工均参与到发散性思维过程中。

Zhu 等人(2017)研究了静息网络(resting state networks, RSNs)连接模式对于言语和视觉发散性思维的预测作用。结果发现, 对于网络内的功能连接而言, 额顶控制网络中的顶上叶(superior parietal cortex, SPL)功能连接强度可以同时负向预测两种类型发散性思维任务表现, 而额顶控制网络的额中回(middle frontal gyrus, MFG)、默认网络的楔前叶功能连接强度可以负向预测视觉发散性思维得分, 默认网络的内侧前额皮层功能连接强度可以负向预测言语发散性思维任务表现。对于网络间的功能连接而言, 无论是言语创造力, 还是图形创造力, 均与额顶控制网络与默认网络间功能连接强度呈正相关。Beaty, Christensen, Benedek, Silvia 和 Schacter (2017)通过实验操纵将新颖观点生成中存在的语义干扰作用进行了分离, 以探究大脑网络间互相作用所对应的认知机制。结果显示, 高语义限制条件下(相比于低语义限制条件)伴随着执行控制与默认网络间功能连接的增强。这表明, 发散性思维中的认知控制有利于抑制优势语义干扰。

执行控制网络与默认网络的共同活动意味着, 发散性思维可能需要在认知控制与自发性加工之间达到某种微妙的平衡(deliberate balance), 对认知控制加工需求的增加并不会引起默认网络的抑制(Mok, 2012)。创造性思维的双过程模型提出, 创造性思维由两个过程互相作用产生: 其一为观念生成(idea generation), 主要通过联系性加工的形式实现; 其二为观念评价(idea evaluation), 通过对观点适宜性和新颖性的评价及筛选实现(Basadur, Graen, & Green, 1982; Sowden, Pringle, & Gabora, 2015)。创造性产品产出的过程包括观点生成与观点评价两个过程间转换的不断循环。Beaty, Benedek, Silvia 和 Schacter (2016)的新近综述指出, 发散性思维是大脑默认网络与执行控制网络动态相互作用的结果。默认网络可能更多与创造性观念生成有关, 尤其与从长时记忆中提取潜在有用的信息有关; 执行控制网络主要负责依据任务要求对创造性观点进行评价与修正; 而突显网络(salient network)则负责默认网络与执行控

制网络之间的灵活转换。在另一篇新近综述中, Zabelina 和 Andrews-Hanna (2016)主张创造性思维是一种典型的内部导向性认知(internally-oriented cognition)过程, 对其涉及的脑网络功能连接进行了分析, 认为发散性思维需要默认网络和执行控制网络的动态协同作用。

6　总结与展望

已有研究对认知控制在发散性思维中的作用没有形成统一的结论, 但多数研究支持认知控制在发散性思维中扮演重要角色, 例如, 维持任务目标, 对信息进行加工整合, 根据认知需求使注意在去焦与聚焦状态下灵活切换, 抑制非新颖性想法的产生, 根据任务要求灵活使用策略, 对最初生成的观点进行修订评价, 等等。需要指出, 新近研究对控制注意理论的强调, 并不代表对早期联想理论的否定。事实上, 目前学界关于创造性思维的认识, 已跳出发散性思维主要依赖于联系性加工, 聚合思维主要依赖于智力的绝对化的认识框架(Silvia, 2015)。发散性思维非常复杂, 既不同于白日梦或心智游移对于思维具有较低的限制, 也不同于一般的问题解决具有明确的目标导向性且需要高度的认知控制(Christoff, Irving, Fox, Spreng, & Andrews-Hanna, 2016)。发散性思维的早期阶段需要思维灵活流动, 从长时记忆中搜索潜在的有用信息, 其后期阶段需要对可能产生的答案不断进行评价、修订及完善, 它需要自上而下控制加工与自下而上联系性加工共同参与完成。

该主题下的研究有几方面不足之处。首先, 认知控制是一个概括性术语(Miyake et al., 2000), 其范畴下的概念较多, 概念间的关系不清晰, 任务范式各异, 导致研究结果难以比较与整合。第二, 多为相关研究, 缺乏有力的因果推理, 对现象背后认知机制的探讨也在初步阶段。虽然研究者已提出双通道模型(de Dreu et al., 2008)和双过程模型(Finke et al., 1992)等体现执行控制功能的理论模型, 但目前的实证研究多在探讨发散性思维是否需要认知控制参与这一问题。认知控制如何对发散性思维中的各种认知加工进行协调, 以保证认知系统以灵活、优化的方式运转? 相较于一般性问题解决, 认知控制在发散性思维中扮演的独特作用机制是什么? 这些重要的科学问题尚未得到回答。第三, 认知控制影响发散性思维的神经基础依然不清楚。例如, 背外侧前额叶、前扣带回、额极皮层等与执行控制有关的脑区参与发散性思维, 他们在发散性思维加工中分别发挥怎样独特的作用? 与大脑网络间功能连接相对应的心理认知过程是什么? 等等。

未来研究应着力解决以下几方面问题。

第一, 若要更好地理解认知控制对发散性思维所起的作用, 需对认知控制各成分间的关系有更深刻的认识。具体说来: (1)需澄清工作记忆与抑制控制的关系(Diamond, 2013), 即 WM 为抑制控制服务, 或抑制控制为 WM 服务, 或二者是互相独立的两种执行功能? (2)在同一研究中区分不同抑制能力(优势反应抑制、分心干扰抑制、前摄干扰抑制)对发散性思维的不同作用。可测量个体各种抑制功能水平, 分析其与发散性思维表现的关系; 可通过实验方法操纵抑制功能的可用资源(如饮用酒精、睡眠剥夺、心智游移、资源耗损、干预训练、双任务范式等), 探索其对发散性思维表现的影响。(3)鉴于流体智力与执行功能、工作记忆等均存在强相关, 后续研究需进一步探索流体智力对于发散性思维的特异性影响及其作用机制。

第二, 探讨认知控制影响发散性思维是否受到其他因素的调节。发散性思维涉及多种因素共同作用, 执行功能也会受其他认知情感因素的影响。因此, 需探索影响认知控制与发散性思维作用关系的第三因素(如动机与情绪因素), 利于澄清以往研究中的不一致结论。研究表明, 情绪卷入和动机对于认知控制有广泛影响(Pessoa, 2009), 国内学者对此已有相关综述(周雅, 2013)。研究也发现, 积极/消极情绪或趋近/回避动机分别对发散性思维有不同作用方式(Nijstad, de Dreu, Rietzschel, & Baas, 2010; Friedman & Förster, 2005)。基于此, 未来研究可对被试的情绪或动机进行测量、诱发及操纵, 探究情绪或动机、执行控制与发散性思维之间的路径关系。

第三, 关注多巴胺(dopamine, DA)等神经递质在发散性思维中的作用。研究表明, 多巴胺水平与额顶控制网络功能连接强度存在倒 U 型关系(Dumontheil, Gilbert, Frith, & Burgess, 2010)。有趣的是, 多巴胺水平与发散性思维表现也呈倒 U 型关系(Chermahini & Hommel, 2010)。Aberg, Doell 和 Schwartz (2017)发现, 左半球 DA 水平占优势

组(相比于右半球DA水平占优势组), 具有更好的联系性加工能力以及更高的创造力。后续研究可以检验四种多巴胺能通路(中脑−边缘通路、中脑−皮质通路、黑质−纹状体通路、下丘脑−漏斗通路)中究竟哪些通路会影响发散性思维, 以及不同多巴胺通路在认知控制对于发散性思维作用中所扮演的角色, 进而为有意识认知控制理论寻找有效的生化标记(biochemical marker)。

第四, 理解大脑运行规律有两项基本法则, 即功能分离(functional segregation)与功能整合(functional integration) (Friston, 2011)。基于这一思路, 后续研究一方面可以借助经颅磁刺激(TMS)或经颅直流电刺激(tDCS)、经颅交流电刺激(tACS)等技术直接刺激与认知控制相关的特定脑区(如抑制控制核心脑区额下回) (Aron, Robbins, & Poldrack, 2014), 探究大脑执行功能的改变对发散性思维产生的影响。另一方面, 采用更精巧的实验设计, 探索发散性思维中DMN和ECN如何动态协作, 如何实现"最优化"的平衡。具体可从以下两方面进行思考: (1) DMN和ECN之间是协作还是竞争关系可能取决于任务要求(如追求观念的新颖性或数量, 任务时长, 认知负荷等)。认知控制的匹配过滤假说(matched filter hypothesis)指出, 不同任务对认知控制的参与度有不同的需求, 并非认知控制水平越高越好(Chrysikou et al., 2014)。后续研究可操纵发散性思维的任务要求或认知负荷, 探究认知控制和自发性认知在不同情况下的协作模式。(2) DMN与ECN之间的动态作用可能受个体差异(如人格或智力因素)的调节(Mok, 2012)。后续研究可对个体特质进行测量, 区分特质高低组, 对比不同组别在完成发散性思维任务时大脑网络功能连接模式的异同。

参考文献

沈汪兵, 刘昌, 施春华, 袁媛. (2015). 创造性思维的性别差异. *心理科学进展, 23*, 1380−1389.

姚海娟. (2014). *创造性思维与认知抑制: 机制和影响因素*(博士学位论文). 天津师范大学.

张丽华, 胡领红, 白学军. (2008). 创造性思维与分心抑制能力关系的汉字负启动效应实验研究. *心理科学, 31*, 638–641.

周雅. (2013). 情绪唤起对执行功能的作用. *心理科学进展, 21*, 1186–1199.

Aberg, C. K., Doell, K., & Schwartz, S. (2017). The "creative right brain" revisited: Individual creativity and associative priming in the right hemisphere relate to hemispheric asymmetries in reward brain function. *Cerebral Cortex, 27*, 4946–4959.

Andrews-Hanna, J. R. (2012). The brain's default network and its adaptive role in internal mentation. *The Neuroscientist, 18*, 251–270.

Andrews-Hanna, J. R., Smallwood, J., & Spreng, R. N. (2014). The default network and self-generated thought: Component processes, dynamic control, and clinical relevance. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1316*, 29–52.

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. *Trends in Cognitive Sciences, 18*, 177–185.

Baddeley, A. (1992). Working memory and conscious awareness. In A. Collins, S. Gathercole, Martin A. Conway, & P. E. Morris (Eds.), *Theories of memory* (pp. 11–20). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Baird, B., Smallwood, J., Mrazek, M. D., Kam, J. W. Y., Franklin, M. S., & Schooler, J. W. (2012). Inspired by distraction: Mind wandering facilitates creative incubation. *Psychological Science, 23*, 1117–1122.

Basadur, M., Graen, G. B., & Green, S. G. (1982). Training in creative problem solving: Effects on ideation and problem finding and solving in an industrial research organization. *Organizational Behavior and Human Performance, 30*, 41–70.

Beaty, R. E., & Silvia, P. J. (2012). Why do ideas get more creative across time? An executive interpretation of the serial order effect in divergent thinking tasks. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 6*, 309–319.

Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in Cognitive Sciences, 20*, 87–95.

Beaty, R. E., Benedek, M., Wilkins, R. W., Jauk, E., Fink, A., Silvia, P. J., … Neubauer, A. C. (2014). Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest. *Neuropsychologia, 64*, 92–98.

Beaty, R. E., Christensen, A. P., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2017). Creative constraints: Brain activity and network dynamics underlying semantic interference during idea production. *NeuroImage, 148*, 189–196.

Beaty, R. E., Silvia, P. J., Nusbaum, E. C., Jauk, E., & Benedek, M. (2014). The roles of associative and executive processes in creative cognition. *Memory & Cognition, 42*, 1186–1197.

Benedek, M., Franz, F., Heene, M., & Neubauer, A. C. (2012). Differential effects of cognitive inhibition and intelligence on creativity. *Personality and Individual*

Differences, 53, 480–485.

Benedek, M., Jauk, E., Sommer, M., Arendasy, M., & Neubauer, A. C. (2014). Intelligence, creativity, and cognitive control: The common and differential involvement of executive functions in intelligence and creativity. *Intelligence, 46*, 73–83.

Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2013). Revisiting Mednick's model on creativity-related differences in associative hierarchies. Evidence for a common path to uncommon thought. *The Journal of Creative Behavior, 47*, 273–289.

Burgess, G. C., Gray, J. R., Conway, A. R. A., & Braver, T. S. (2011). Neural mechanisms of interference control underlie the relationship between fluid intelligence and working memory span. *Journal of Experimental Psychology: General, 140*, 674–692.

Carson, S. H., Peterson, J. B., & Higgins, D. M. (2003). Decreased latent inhibition is associated with increased creative achievement in high-functioning individuals. *Journal of Personality and Social Psychology, 85*, 499–506.

Cassotti, M., Agogué, M., Camarda, A., Houdé, O., & Borst, G. (2016). Inhibitory control as a core process of creative problem solving and idea generation from childhood to adulthood. *New Directions for Child and Adolescent Development, 2016*, 61–72.

Chein, J. M., & Weisberg, R. W. (2014). Working memory and insight in verbal problems: Analysis of compound remote associates. *Memory & Cognition, 42*, 67–83.

Chen, Q., Yang, W., Li, W., Wei, D., Li, H., Lei, Q., … Qiu, J. (2014). Association of creative achievement with cognitive flexibility by a combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity study. *NeuroImage, 102*, 474–483.

Chermahini, S. A., & Hommel, B. (2010). The (b)link between creativity and dopamine: Spontaneous eye blink rates predict and dissociate divergent and convergent thinking. *Cognition, 115*, 458–465.

Christoff, K., Irving, Z. C., Fox, K. C. R., Spreng, R. N., & Andrews-Hanna, J. R. (2016). Mind-wandering as spontaneous thought: A dynamic framework. *Nature Reviews Neuroscience, 17*, 718–731.

Chrysikou, E. G., Hamilton, R. H., Coslett, H. B., Datta, A., Bikson, M., & Thompson-Schill, S. L. (2013). Noninvasive transcranial direct current stimulation over the left prefrontal cortex facilitates cognitive flexibility in tool use. *Cognitive Neuroscience, 4*, 81–89.

Chrysikou, E. G., Weber, M. J., & Thompson-Schill, S. L. (2014). A matched filter hypothesis for cognitive control. *Neuropsychologia, 62*, 341–355.

Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia, 44*, 2037–2078.

de Dreu, C. K. W., Baas, M., & Nijstad, B. A. (2008). Hedonic tone and activation level in the mood-creativity link: Toward a dual pathway to creativity model. *Journal of Personality and Social Psychology, 94*, 739–756.

de Dreu, C. K. W., Nijstad, B. A., Baas, M., Wolsink, I., & Roskes, M. (2012). Working memory benefits creative insight, musical improvisation, and original ideation through maintained task-focused attention. *Personality and Social Psychology Bulletin, 38*, 656–669.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135–168.

Dijksterhuis, A., & Meurs, T. (2006). Where creativity resides: The generative power of unconscious thought. *Consciousness and Cognition, 15*, 135–146.

Dumontheil, I., Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2010). Recruitment of lateral rostral prefrontal cortex in spontaneous and task-related thoughts. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 63*, 1740–1756.

Edl, S., Benedek, M., Papousek, I., Weiss, E. M., & Fink, A. (2014). Creativity and the Stroop interference effect. *Personality and Individual Differences, 69*, 38–42.

Evans, J. S. B. T. (2003). In two minds: Dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences, 7*, 454–459.

Eysenck, H. J. (1995). *Genius: The natural history of creativity*. Cambridge: Cambridge University Press.

Fink, A., & Benedek, M. (2014). EEG alpha power and creative ideation. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 44*, 111–123.

Fink, A., Graif, B., & Neubauer, A. C. (2009). Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *NeuroImage, 46*, 854–862.

Fink, A., & Neubauer, A. C. (2006). EEG alpha oscillations during the performance of verbal creativity tasks: Differential effects of sex and verbal intelligence. *International Journal of Psychophysiology, 62*, 46–53.

Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1992). *Creative cognition: Theory, research, and applications*. Cambridge, MA: MIT Press.

Friedman, R. S., & Förster, J. (2005). Effects of motivational cues on perceptual asymmetry: Implications for creativity and analytical problem solving. *Journal of Personality and Social Psychology, 88*, 263–275.

Friston, K. J. (2011). Functional and effective connectivity:

A review. *Brain connectivity, 1*, 13–36.

Gilhooly, K. J., Fioratou, E., Anthony, S. H., & Wynn, V. (2007). Divergent thinking: Strategies and executive involvement in generating novel uses for familiar objects. *British Journal of Psychology, 98*, 611–625.

Goel, V., & Vartanian, O. (2005). Dissociating the roles of right ventral lateral and dorsal lateral prefrontal cortex in generation and maintenance of hypotheses in set-shift problems. *Cerebral Cortex, 15*, 1170–1177.

Golden, C. J. (1975). The measurement of creativity by the Stroop color and word test. *Journal of Personality Assessment, 39*, 502–506.

Grabner, R. H., Fink, A., & Neubauer, A. C. (2007). Brain correlates of self-rated originality of ideas: Evidence from event-related power and phase-locking changes in the EEG. *Behavioral Neuroscience, 121*, 224–230.

Green, A. E., Cohen, M. S., Raab, H. A., Yedibalian, C. G., & Gray, J. R. (2015). Frontopolar activity and connectivity support dynamic conscious augmentation of creative state. *Human Brain Mapping, 36*, 923–934.

Green, M. J., & Williams, L. M. (1999). Schizotypy and creativity as effects of reduced cognitive inhibition. *Personality and Individual Differences, 27*, 263–276.

Greicius, M. D., Krasnow, B., Reiss, A. L., & Menon, V. (2003). Functional connectivity in the resting brain: A network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 100*, 253–258.

Groborz, M., & Necka, E. (2003). Creativity and cognitive control: Explorations of generation and evaluation skills. *Creativity Research Journal, 15*, 183–197.

Hao, N., Ku, Y., Liu, M., Hu, Y., Bodner, M., Grabner, R. H., & Fink, A. (2016). Reflection enhances creativity: Beneficial effects of idea evaluation on idea generation. *Brain and Cognition, 103*, 30–37.

Hao, N., Wu, M., Runco, M. A., & Pina, J. (2015). More mind wandering, fewer original ideas: Be not distracted during creative idea generation. *Acta Psychologica, 161*, 110–116.

Hao, N., Yuan, H., Cheng, R., Wang, Q., & Runco, M. A. (2015). Interaction effect of response medium and working memory capacity on creative idea generation. *Frontiers in Psychology, 6*, 1582, doi: 10.3389/fpsyg.2015.01582.

Jaarsveld, S., Fink, A., Rinner, M., Schwab, D., Benedek, M., & Lachmann, T. (2015). Intelligence in creative processes: An EEG study. *Intelligence, 49*, 171–178.

Jauk, E., Benedek, M., & Neubauer, A. C. (2012). Tackling creativity at its roots: Evidence for different patterns of EEG alpha activity related to convergent and divergent modes of task processing. *International Journal of Psychophysiology, 84*, 219–225.

Kenett, Y. N., Beaty, R. E., Silvia, P. J., Anaki, D., & Faust, M. (2016). Structure and flexibility: Investigating the relation between the structure of the mental lexicon, fluid intelligence, and creative achievement. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 10*, 377–388.

Lee, C. S., & Therriault, D. J. (2013). The cognitive underpinnings of creative thought: A latent variable analysis exploring the roles of intelligence and working memory in three creative thinking processes. *Intelligence, 41*, 306–320.

Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology, 21*, 59–80.

Lin, W.-L., & Lien, Y.-W. (2013). The different role of working memory in open-ended versus closed-ended creative problem solving: A dual-process theory account. *Creativity Research Journal, 25*, 85–96.

Lubow, R. E., & Gewirtz, J. C. (1995). Latent inhibition in humans: Data, theory, and implications for schizophrenia. *Psychological Bulletin, 117*, 87–103.

Lustenberger, C., Boyle, M. R., Foulser, A. A., Mellin, J. M., & Fröhlich, F. (2015). Functional role of frontal alpha oscillations in creativity. *Cortex, 67*, 74–82.

Mayseless, N., Eran, A., & Shamay-Tsoory, S. G. (2015). Generating original ideas: The neural underpinning of originality. *NeuroImage, 116*, 232–239.

McVay, J. C., & Kane, M. J. (2009). Conducting the train of thought: Working memory capacity, goal neglect, and mind wandering in an executive-control task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35*, 196–204.

McVay, J. C., & Kane, M. J. (2010). Adrift in the stream of thought: The effects of mind wandering on executive control and working memory capacity. In A. Gruszka, G. Matthews, & B. Szymura (Eds.), *Handbook of individual differences in cognition* (pp. 321–334). New York: Springer.

Mednick, S. A. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review, 69*, 220–232.

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24*, 167–202.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49–100.

Mok, L. W. (2012). Short-term retrospective versus prospective memory processing as emergent properties of

the mind and brain: Human fMRI evidence. *Neuroscience, 226*, 236–252.

Neill, W. T. (1977). Inhibitory and facilitatory processes in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 3*, 444–450.

Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin, 126*, 220–246.

Nijstad, B. A., de Dreu, C. K. W., Rietzschel, E. F., & Baas, M. (2010). The dual pathway to creativity model: Creative ideation as a function of flexibility and persistence. *European Review of Social Psychology, 21*, 34–77.

Nijstad, B. A., & Stroebe, W. (2006). How the group affects the mind: A cognitive model of idea generation in groups. *Personality and Social Psychology Review, 10*, 186–213.

Nusbaum, E. C., & Silvia, P. J. (2011). Are intelligence and creativity really so different?: Fluid intelligence, executive processes, and strategy use in divergent thinking. *Intelligence, 39*, 36–45.

Nusbaum, E. C., Silvia, P. J., & Beaty, R. E. (2014). Ready, set, create: What instructing people to “be creative” reveals about the meaning and mechanisms of divergent thinking. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 8*, 423–432.

Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control?. *Trends in Cognitive Sciences, 13*, 160–166.

Radel, R., Davranche, K., Fournier, M., & Dietrich, A. (2015). The role of (dis)inhibition in creativity: Decreased inhibition improves idea generation. *Cognition, 134*, 110–120.

Rosen, V. M., & Engle, R. W. (1997). The role of working memory capacity in retrieval. *Journal of Experimental Psychology, 126*, 211–227.

Runco, M. A., & Acar, S. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. *Creativity Research Journal, 24*, 66–75.

Runco, M. A., & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. *Creativity Research Journal, 24,* 92–96.

Silvia, P. J. (2015). Intelligence and creativity are pretty similar after all. *Educational Psychology Review, 27*, 599–606.

Smallwood, J. (2013). Distinguishing how from why the mind wanders: A process–occurrence framework for self-generated mental activity. *Psychological Bulletin, 139*, 519–535.

Smeekens, B. A., & Kane, M. J. (2016). Working memory capacity, mind wandering, and creative cognition: An individual-differences investigation into the benefits of controlled versus spontaneous thought. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 10*, 389–415.

Sowden, P. T., Pringle, A., & Gabora, L. (2015). The shifting sands of creative thinking: Connections to dual-process theory. *Thinking & Reasoning, 21*, 40–60.

Stavridou, A., & Furnham, A. (1996). The relationship between psychoticism, trait-creativity and the attentional mechanism of cognitive inhibition. *Personality and Individual Differences, 21*, 143–153.

Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 3–15). New York: Cambridge University Press.

Sun, J., Chen, Q., Zhang, Q., Li, Y., Li, H., Wei, D., … Qiu, J. (2016). Training your brain to be more creative: Brain functional and structural changes induced by divergent thinking training. *Human Brain Mapping, 37*, 3375–3387.

Vandervert, L. R., Schimpf, P. H., & Liu, H. (2007). How working memory and the cerebellum collaborate to produce creativity and innovation. *Creativity Research Journal, 19*, 1–18.

Vartanian, O., Jobidon, M.-E., Bouak, F., Nakashima, A., Smith, I., Lam, Q., & Cheung, B. (2013). Working memory training is associated with lower prefrontal cortex activation in a divergent thinking task. *Neuroscience, 236*, 186–194.

Zabelina, D., Saporta, A., & Beeman, M. (2016). Flexible or leaky attention in creative people? Distinct patterns of attention for different types of creative thinking. *Memory & Cognition, 44*, 488–498.

Zabelina, D. L., & Andrews-Hanna, J. R. (2016). Dynamic network interactions supporting internally-oriented cognition. *Current Opinion in Neurobiology, 40*, 86–93.

Zabelina, D. L., O'Leary, D., Pornpattananangkul, N., Nusslock, R., & Beeman, M. (2015). Creativity and sensory gating indexed by the P50: Selective versus leaky sensory gating in divergent thinkers and creative achievers. *Neuropsychologia, 69*, 77–84.

Zabelina, D. L., & Robinson, M. D. (2010). Creativity as flexible cognitive control. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 4*, 136–143.

Zhong, C.-B., Dijksterhuis, A., & Galinsky, A. D. (2008). The merits of unconscious thought in creativity. *Psychological Science, 19*, 912–918.

Zhu, W., Chen, Q., Xia, L., Beaty, R. E., Yang, W., Tian, F., ... & Qiu, J. (2017). Common and distinct brain networks underlying verbal and visual creativity. *Human Brain Mapping, 38*, 2094–2111.

The role of cognitive control in divergent thinking

TENG Jing[1]; SHEN Wangbing[2]; HAO Ning[1]

([1] *School of Psychology and Cognitive Science, East China Normal University, Shanghai* 200062, *China*)

([2] *School of Public Administration and Institute of Applied Psychology, Hohai University, Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: The role of cognitive control in divergent thinking is one of the concerns in the field of creativity research. Many scholars consider that core cognitive control involves working memory, cognitive inhibition, and cognitive flexibility. Working memory plays an important role in task goal maintenance and the retrieval and manipulation of the task-related information during divergent thinking. Different types of cognitive inhibition may affect divergent thinking in diverse ways. For example, proponent response inhibition can be used for suppressing retrieval of common ideas; resistance to task-unrelated interference can be used for maintaining proper internally-directed attention, and low resistance to potentially irrelevant stimulus can be adopted for providing all possible combinations of concepts. In addition, as a high-order cognitive control, fluid intelligence can contribute to divergent thinking through enhancing the flexibility of strategies uses. In recent years, extensive neuroscience studies have demonstrated the involvement of cooperation between default mode network and executive control network in different stages of creative cognition. Based on present findings, future research should aim to: (1) distinguish conceptual relationships among subcomponents of cognitive control; (2) explore whether the effect of cognitive control on divergent thinking could be modulated by other potential factors, such as motivation or emotion; (3) investigate whether individual differences or task demand influence the dynamic interplay between cognitive control network and default mode network.

Key words: divergent thinking; cognitive control; working memory; cognitive inhibition; fluid intelligence